

Approved For Release STAT  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120

Dec

Approved For Release  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120



Вторая Международная конференция  
Организации Объединенных Наций  
по применению атомной энергии  
в мирных целях

A/CONF/15/P 2201  
USSR  
ORIGINAL: RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

25 YEAR RE-REVIEW

ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ  
УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ В УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА

А.И.Тишкин, Г.А.Тананаева, Г.Д.Гладышев, И.В.Мельников,  
В.А.Поликарпова, М.С.Цыбульская

В в е д е н и е

Детальное исследование урановых месторождений Советского Союза показало, что вещественный состав их весьма разнообразен. Изучением последовательности формирования минералов и минеральных комплексов в месторождениях выявлено, что урановое оруденение в них занимает определенное место. Вместе с урановыми минералами отлагается сравнительно небольшое число других минералов. Последняя группа минералов названа в данной статье парагенетической.

Анализ парагенетических ассоциаций урановых минералов в урановых месторождениях Советского Союза доказал как особенности каждой из ассоциации, так и общие черты, свойственные урановой стадии минерализации большинства месторождений. Результаты изучения парагенетических ассоциаций урановых минералов излагаются в настоящей работе.

Описание парагенетических ассоциаций произведено по типам химических соединений урана. Принятая классификация позволила выделить парагенезисы окислов урана и парагенезис силиката урана. Первый парагенезис, весьма обширный, подразделен на ряд парагенетических ассоциаций. Выделение последних произведено по главным урановым и парагенным с ними минералам. Порядок описания отдельных парагенетических ассоциаций отражает их распространенность на территории Советского Союза.

-2-

Настуран-галенитовая парагенетическая ассоциация охарактеризована Г.Д.Гладышевым. Им же совместно с И.В.Мельниковым дано описание настуран-молибденитовой парагенетической ассоциации.

Г.А.Тананаевой описаны парагенетические ассоциации настурана с кварцем и пиритом, а также настурана с сульфидами меди.

В.А.Поликарповой описан парагенезис силиката урана, а М.С.Цыбульской - уранинит - настуран - доломитовая парагенетическая ассоциация.

А.И.Тишкиным составлено описание настуран-сфалеритовой, настуран-антимонит-марказитовой, настуран-галогенидной (флюоритовой), настуран-диарсенидной, настуран-кальцитовой и настуран-кальцитовой с гидроокислами железа ассоциаций, а также заключительный раздел. Им же осуществлялось руководство при сборе материала и написании статьи.

Перед тем как приступить к описанию различных парагенетических ассоциаций урановых минералов в гидротермальных месторождениях СССР, приведем краткое определение основных терминов, употребляемых в статье.

1. Этап минерализации. Под этапом минерализации мы понимаем длительный период времени, в течение которого формировался комплекс разновозрастных гидротермальных образований, связанных с определенным тектономагматическим циклом.

2. Стадия минерализации. Под стадией минерализации понимается отрезок времени внутри этапа минерализации, в течение которого формировались гидротермальные образования (жилы, гнезда, зоны вкрапленности, метасоматические тела и т.д.). Гидротермальные образования, сформированные в одну стадию минерализации, характеризуются более или менее близким вещественным составом и во времени отделены от других стадий тектоническими подвижками.

3. Ассоциация - группа совместно находящихся минералов, независимо от их генезиса и возраста.

4. Парагенетическая ассоциация - группа совместно образованных, как правило, близкоодновременных минералов, отложившихся из одной порции растворов.

5. Генерация - разновозрастные выделения одного и того же минерала, отложившиеся в одну стадию минерализации.

-3-

# 1. ПАРАГЕНЕЗИСЫ ОКИСЛОВ УРАНА настурана и уранинита

1. Настуран=сульфидная парагенетическая ассоциация

а) Настуран-молибденитовая парагенетическая ассоциация

Настуран-молибденитовая парагенетическая ассоциация является одной из самых распространенных в урановых гидротермальных месторождениях Советского Союза. Эти месторождения имеют весьма схожий минералогический состав, но резко различны по морфологии рудных тел. Одни представлены типичными трещинными жилами, другие - линзообразными и столбообразными рудными залежами с рассеянным вкрапленным или штокверковым оруденением, где выполнение трещин рудным веществом имеет явно подчиненное значение.

Вмещающими породами, как правило, являются интрузивные, эффузивные и эффузивно-осадочные породы кислого, в меньшей мере среднего состава различного возраста. Породы, вмещающие рудные тела, претерпевают гидротермальный метаморфизм той или иной интенсивности, который в общих чертах выражается в карбонатизации, альбитизации, окварцевании, в появлении гидрослюд и гидроокислов железа. Последние обуславливают покраснение вмещающих пород. На отдельных месторождениях проявлены не все названные изменения, а только некоторые из них, причем в ореоле околорудных изменений часто устанавливается отчетливая вертикальная зональность. В хорошо изученных месторождениях жильного типа эта зональность выражена следующим образом. Вмещающие породы кислого состава на верхних и средних горизонтах месторождений, а породы среднего состава только на верхних горизонтах около контакта с жилами обогащены  $\text{CaO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{MgO}$  и обеднены  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . На нижних горизонтах месторождений вмещающие породы кислого состава обогащены  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{S}$  и обеднены  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ . Для пород среднего состава последние изменения распространяются и на средние горизонты месторождений.

В месторождениях жильного типа четко выделяются четыре стадии минерализации, названные по ведущим минералам: 1-я - кварц-анкерит-сульфидная, 2-я - кальцит-барит-флюоритовая, 3-я - настуран-молибденитовая и 4-я - кальцитовая. Первые две стадии получили сравнительно слабое распространение и представлены прожилками длиной в десятки метров и мощностью в несколько сантиметров. В



-4-

прожилках и жилах этих двух стадий главнейшими минералами являются <sup>ж)</sup>: 1-я стадия кварц, арсенопирит, пирит, темный сфалерит + галенит и халькопирит, анкерит; 2-я - кварц+флюорит, барит, клейофан+галенит+халькопирит, кальцит; 3-я и иногда 4-я стадии проявлены на жильных месторождениях особенно широко. Лицо этих стадий определяется следующими главнейшими минералами: 3-я стадия минерализации - кварц, настуран+молибденит, галенит, карбонаты; 4-я - анкерит, клейофан +галенит+халькопирит, кальцит. Следует отметить, что значительное количество карбонатов появляется в прожилках и жилах первых трех стадий минерализации только в случае залегания их в породах среднего состава, в то время как в породах кислого состава карбонатов мало.

В месторождениях с рассеянным вкрапленным оруденением настуран-молибденитовой минерализации иногда предшествовали окварцевание вмещающих пород и их альбитизация. В результате последней целые блоки вмещающих пород превращены в альбититы.

Рудная стадия характеризуется интенсивной карбонатизацией пород, а к концу этой стадии произошло отложение настурана, молибденита и небольших количеств некоторых сульфидов. Гидротермальный процесс на всех месторождениях завершается формированием многочисленных мелких прожилков кальцита, иногда борнита, флюорита и кварца с сульфидами.

В парагенезисе с настураном в месторождениях как жильного, так и вкрапленного типа, кроме молибденита, встречено значительное число минералов. Из рудных установлены: пирит, арсенопирит, клейофан, галенит, халькопирит, марказит, гетит; из жильных - кальцит, кварц, анкерит, мангананкерит, хлориты, гидрослюда и флюорит. В отдельных месторождениях количественные соотношения между перечисленными минералами резко меняются, а некоторые из них не встречены совершенно, однако из рудных минералов всегда наиболее распространенными являются настуран и молибденит.

Настуран на месторождениях с настуран-молибденитовым парагенезисом характеризуется самыми разнообразными формами выделения. Он совместно с другими парагенными ему минералами слагает жилы и прожилки различной мощности и протяженности, линзовидные, изотермичные и неправильной формы включения в породе размером до нескольких сантиметров, корочки и каемки мощностью от долей миллиметра

ж) Перечисление минералов в составе жил каждой стадии минерализации приведено в порядке последовательности их отложения.

-5-

до 5 мм на обломках вмещающих пород и ранее выделившихся рудных и жильных минералах. Настуран также выполняет тончайшие трещинки в раздробленных породах и образует мелкую вкрапленность в них. Довольно часто настуран играет роль цемента среди обломков раздробленных пород и более ранних минералов, а иногда раздроблен сам, и обломки его почек цементируются жильными и рудными минералами. Во всех случаях устанавливается колломорфное строение настурана.

Молибденит после настурана является вторым по распространенности рудным минералом, а в отдельных участках месторождений он в количественном отношении даже преобладает над ним. В одних случаях в рудных жилах молибденит хорошо раскристаллизован и в виде агрегатов пластинчатых зерен развивается между почками настурана (рис.1.) или выполняет центральную часть прожилков, сложенных настураном. В других случаях он слабо раскристаллизован и образует тонкочешуйчатый агрегат, залечивающий трещинки усыхания в настуране или тесно сросшийся с последним. Такие срастания представляют собою почки или корочки, в которых перемежаются слои, сложенные настураном и молибденитом. Иногда молибденит, находящийся в срастании с настураном, настолько слабо раскристаллизован, что отдельные индивидуумы его не различимы при самых больших увеличениях микроскопа. Подобные срастания представляют собою, по-видимому, метаколлоид, образовавшийся в результате раскристаллизации геля сложного состава. Весьма часто молибденит образует каемки колломорфного строения вокруг почек настурана или выполняет пространство между ними (рис.2).

Второстепенные минералы настуран-молибденитовой парагенетической ассоциации, указанные выше, находятся с настураном и молибденитом в следующих взаимоотношениях. Галенит, клейофан, халькопирит, марказит и пирит слагают мелкозернистые агрегаты, выполняющие трещинки усыхания в настурановых или настуран-молибденитовых колломорфных выделениях. Из жильных минералов - кварц, как правило, выделяется раньше молибденита по зальбандам жил, а остальные - кальцит, серицит, анкерит, мангананкерит, хлорит, флюорит и гидрослюды - выполняют оставшееся пространство после выделения рудных минералов. На ряде месторождений замечены некоторые закономерности в количественных соотношениях главных и второстепенных минералов. Так, появление клейофана, халькопирита и пирита в настуран-молибде-

-6-

нитовых жилах может быть объяснено растворением и переотложением этих минералов из состава более ранних сульфидных жил при пересечении их настуран-молибденитовыми жилами. Точно также часто присутствие кальцита в жилах тесно связано с содержанием кальция во вмещающих породах.

На месторождениях, имеющих большую глубину по падению и мало затронутых эрозией, выявлена вертикальная зональность, заключающаяся в том, что на верхних горизонтах месторождений руды существенно обогащены галенитом и карбонатом, в то время как на нижних горизонтах в них много молибденита, кварца, хлорита и почти нет карбонатов и галенита.

В результате длительных и многосторонних исследований настуран-молибденитовой парагенетической ассоциации сделаны следующие выводы.

1. Настуран-молибденитовая парагенетическая ассоциация была отложена растворами одной стадии минералообразования многостадийного гидротермального процесса. Как правило, эта стадия или завершает гидротермальный процесс в месторождениях, или является одной из последних.

2. Растворы были химически активными, о чем свидетельствует гидротермальное изменение вмещающих пород, часто очень значительное, а также растворение сульфидов более ранних стадий в том случае, когда они оказываются в сфере воздействия ураноносных растворов.

3. Минеральный состав гидротермальных образований с настуран-молибденитовой парагенетической ассоциацией очень простой. В них вместе с широко распространенным молибденитом устанавливаются: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, блеклые руды - минералы, характерные для обычных полиметаллических месторождений.

#### б) Настуран-галенитовая парагенетическая ассоциация

Галенит в парагенезисе с настураном отмечается на абсолютном большинстве урановых месторождений и рудопроявлений Советского Союза. Однако содержание галенита в рудах этих месторождений, как правило, крайне незначительно. Исключение составляют отдельные месторождения, в которых галенит наряду с настураном является главным минералом рудных жил. Взаимоотношения галенита с настураном на этих месторождениях столь разнообразны, что могут ото-

-7-

образить парагенетическую ассоциацию настурана с галенитом, отмеченную и на многих других урановых месторождениях.

Описываемые месторождения залегают в эффузивно-осадочных породах, представленных кварцевыми порфирами, фельзитами, туфами и туфоловами кварцевых порфиров, песчаниками, туфопесчаниками. Порода смяты в пологие складки и нарушены рядом крупных тектонических нарушений, к которым пространственно тяготеют экстрוזии и дайки кварцевых порфиров, дайки диоритовых порфиритов, фельзитов, лампрофиров и диабазовых порфиритов.

Породы, вмещающие настуран-галенитовые жилы и прожилки, в результате воздействия гидротермальных растворов подверглись значительным изменениям, которые выразились в альбитизации, красном изменении, в меньшей мере - серицитизации. Весьма примечательно, что большинство рудных тел "слепые".

Месторождения были сформированы в одну стадию минерализации. Наибольшее развитие получили настуран-галенитовые жилы и прожилки. В небольшом количестве встречены также кальцит-флюоритовые и кальцитовые прожилки. Последние часто развиты на продолжении настуран-галенитовых жил, причем кальцитовые прожилки обычно характерны для участков выклинивания настуран-галенитовых жил по простиранию и падению, а кальцит-флюоритовые - по восстанию. Переход настуран-галенитовых жил и прожилков в кальцит-флюоритовые и кальцитовые происходит путем постепенной смены количественных соотношений минералов, т.е. в жилах постепенно убывает содержание настурана и галенита и увеличивается количество кальцита и флюорита до их абсолютного преобладания.

Минералогический состав рудных жил и прожилков следующий: главнейшими рудными минералами в них являются настуран и галенит, каждый из которых в среднем слагает 5-40% всей массы жилы; в подчиненном количестве присутствует пирит (1-10%); молибденит, сфалерит, блеклая руда, пираргирит, халькопирит, марказит, миаргирит, гётит и борнит отмечаются в количестве долей процента и только в отдельных участках жил образуют значительные скопления. Из жильных минералов в убывающем порядке присутствуют кальцит, серицит, флюорит, альбит, кварц и хлорит. Характерно, что в настуран-галенитовых жилах рудные минералы резко преобладают над жильными; содержание последних составляет 3-10%.

-8-

Кроме перечисленных гидротермальных минералов, в рудных жилах обычно встречаются обломки в той или иной степени измененных вмещающих пород.

В парагенетической ассоциации с настураном и галенитом установлены все перечисленные выше минералы, однако распределение их в рудных телах неравномерное. По преобладанию тех или иных минералов на месторождении можно выделить несколько ассоциаций минералов, занимающих определенное пространственное положение, переходы которых друг в друга весьма постепенные.

Ниже кратко опишем главные минералы, парагенные настурану, и их взаимоотношения.

Установлено, по крайней мере, три генерации настурана.

Наиболее ранний настуран отложился вместе с галенитом, пиритом, реже сфалеритом, блеклой рудой и пираргиритом. Агрегаты, сложенные перечисленными минералами, выделились из рудоносных растворов, по-видимому, в виде геля сложного состава, который позднее раскристаллизовался, образовав при этом выделения с эмульсионной структурой распада.

Настуран следующей генерации развит наиболее широко. Он отлагается вокруг выделений настурана первой генерации, вокруг обломков пород и минералов в виде корочек и каемок колломорфного строения мощностью до 2 мм. Кроме того, он слагает прожилки мощностью от долей миллиметра до 1 см, а также отдельные почки и сростки почек (рис.3). Выделения настурана этой генерации в одних случаях мономинеральные, в других - содержат мельчайшие включения галенита, реже халькопирита и исключительно редко - блеклой руды, пираргирита, молибденита.

Настуран наиболее поздней генерации обычно цементирует обломки почек настурана ранних генераций.

Растворы, отложившие настуран, были агрессивны по отношению к вмещающей среде, о чем свидетельствует разъедание и замещение до рудного пирита, вкрапленного во вмещающие породы, настураном и парагенными с ним минералами, а также образование реакционных кайм, сложенных тонкозернистым агрегатом серицита, кальцита, кварца и хлорита, по контакту настурана с обломками вмещающих пород, заключенными в настуран-галенитовых жилах (рис.4). Контакты настурана с большинством парагенных ему минералов без следов разъедания,

-9-

однако такие минералы, как галенит, кальцит и флюорит, которые продолжали выделяться после отложения настурана, изредка сами разъедают и замещают настуран. Иными словами, остаточные растворы после выделения настурана стали неравновесны с ним и были способны растворять и перекристаллизовать его.

Галенит в настуран-галенитовых жилах выделялся раньше настурана, одновременно с ним и после него.

Включения наиболее раннего, "донастуранового" галенита цементируются настураном, но непосредственно с последними не контактируют, отделяясь от него каймой нерудных минералов, чаще всего тонкочешуйчатым серицитом, иногда в смеси с хлоритом, кальцитом и кварцем. При этом агрегат наружных минералов интенсивно разъедает и замещает галенит.

Следующий по времени образования галенит выпадал одновременно с настураном, по-видимому, в виде единого геля сложного состава. В процессе старения этот гель подвергся слабой раскристаллизации с образованием метаколлоидных агрегатов, в которых галенит в одних случаях образует обильную эмульсионную вкрапленность в настуране, в других - концентрические колломорфные выделения, в третьих - мелкие включения весьма причудливой формы.

Наиболее широко развит галенит, отложившийся после настурана. Он выполняет промежутки между почками настурана, залечивает трещинки дегидратации в почках, цементирует их обломки (рис.3), а также обособляется в виде прожилков мощностью до 2 мм, секущих настуран. Как правило, контакты между настураном и поздним галенитом ровные, без следов разъедания, но в единичных случаях было отмечено замещение концентрически зональных почеч настурана галенитом, причем замещению подвергаются главным образом отдельные концентрические зонки почеч.

Для галенита всех относительных возрастов характерно наличие в нем мельчайших включений сфалерита, халькопирита и блеклой руды.

На описании парагенетической ассоциации настурана с другими сульфидами и карбонатами мы останавливаться не будем, так как это изложено в других разделах статьи на более типичных примерах, здесь же целесообразно кратко охарактеризовать ассоциацию настурана с силикатами и кварцем.

2741-42



-10-

Из силикатов в ассоциации с настураном наиболее широко развит серицит, в меньшей мере - альбит и хлорит. Весьма характерно, что названные минералы и кварц образовались, по-видимому, не путем непосредственного отложения из гидротермальных растворов, а за счет вмещающих пород как продукт их изменения в результате воздействия гидротермальных растворов.

Серицит в тех или иных количествах в настуран-галенитовых жилах и прожилках отмечается постоянно. Обычно он в виде тонких каемок развивается по обломкам вмещающих пород вдоль контактов с настураном (рис. 4). В некоторых участках жил, где обильно развит настуран, обломки вмещающих пород нацело замещены серицитом, так что последний занимает все пространство между почками настурана. В агрегатах вместе с серицитом почти всегда отмечаются небольшие количества хлорита (типа прохлорита), мелкозернистого кварца и кальцита.

Альбит широко развит в верхних частях рудных тел, образуя мощный ореол альбитизации пород, вмещающих настуран-галенитовые жилы. В самих настуран-галенитовых жилах альбит встречается исключительно редко и развивается по вкрапленникам калиевого полевого шпата в обломках вмещающих пород. Иногда вкрапленники новообразованного альбита частично разъедаются и замещаются настураном, причем контакт настурана с альбитом непосредственный, без каких-либо реакционных кайм. Альбит образовался несколько раньше настурана, но закономерная пространственная приуроченность альбитизации только к рудным телам весьма убедительно говорит о том, что образование альбита генетически связано с руд-носными растворами.

Хлорит в настуран-галенитовых жилах встречается в крайне незначительных количествах. По характеру выделений и взаимоотношений с настураном он подобен серициту, с которым, как правило, образует единый мелкочешуйчатый агрегат.

Кварц в рудных жилах исключительно редок и обособленных скоплений не образует. Мелкие зерна его встречаются среди агрегатов серицита.

Таким образом, парагенетическая ассоциация настурана с галенитом является частным случаем настуран-сульфидной ассоциации, в которой галенит резко преобладает над другими сульфидами.

2741-42

## -II-

в) Настуран-сфалеритовая парагенетическая ассоциация

Сфалерит в парагенетической ассоциации с настураном весьма обычный минерал. В незначительных количествах он встречен в подавляющем большинстве урановых месторождений Советского Союза, однако имеются месторождения, в которых сфалерит в парагенезисе с настураном является главным минералом рудных тел.

Месторождения и рудопроявления описываемого типа залегают в кислых породах, по составу отвечающих кварцевым порфирам, гранит-порфирам и кварцевым сиенит-порфирам.

Наиболее типичной формой рудных тел являются линзы, у которых горизонтальные размеры преобладают над вертикальными, но наблюдаются также линзы, вытянутые в вертикальном направлении более, чем в горизонтальном, т.е. приближающиеся по форме к рудным столбам. В единичных случаях известны жиллообразные тела. Во всех известных месторождениях и рудопроявлениях распределение урановой минерализации в пределах рудных тел штокверковое.

В месторождениях, являющихся типичными, установлены гидротермальные минералы четырех стадий минерализации.

К первой стадии отнесены вмещающие породы, а также мелкие одиночные кварцевые прожилки, нередко содержащие небольшое количество включений пирита. Вторая стадия представлена прожилками кварц-баритового, баритового и барит-карбонатного состава со значительным количеством сфалерита, галенита и небольшими количествами пирита, халькопирита, блеклой руды. Карбонаты относятся к железистому родохрозиту, мангансидериту и кальциту. Последовательность выделения минералов следующая: кварцит, пирит, барит, железистый родохрозит и мангансидерит, сульфиды (галенит, сфалерит, халькопирит), кальцит. К третьей стадии относятся настурановые рудные тела, описанные ниже. Завершается формирование месторождения мелкими барит-карбонатными, анкерит-кальцитовыми, кальцитовыми и кварц-сульфидными прожилками. В количественном отношении минералы настурановой стадии минерализации резко преобладают над минералами других стадий, вместе взятых. Настурансодержащие прожилки имеют черный цвет, напоминающий марганцевые руды, и массивное сложение. Макроскопическим наблюдением в рудах выделить какие-либо минералы удается лишь иногда и с большим трудом. Детальными микроскопическими наблюдениями устанавливаются сфалерит, настуран, галенит, пирит,

2741-42



-12-

кальцит, флюорит, молибденит, кварц, сурьмяно-мышьяковые сульфосили свинца, хлорит, халькопирит, марказит.

Микроскопическое изучение показало, что прожилки более чем на 60% состоят из сфалерита, в котором в заметном количестве встречены настуран, галенит и в меньшем молибденит. Остальные минералы — хлорит, халькопирит, сурьмяно-мышьяковые сульфосили свинца, кварц, кальцит, флюорит — составляют в сумме не более 3-5% объема жильной массы.

Перечисленные минералы находятся в тончайшем срастании друг с другом. Они представлены колломорфными дендритовыми образованиями и реже кристаллическими зернами, имеющими сотые и тысячные доли миллиметра в поперечнике.

Настуран в составе прожилков по распространенности занимает второе место после сфалерита. Распределение его в жильной массе крайне неравномерно. Макроскопически настуран отмечен в единичных случаях. Он представлен неправильной формы выделениями не более 1-2 мм в поперечнике среди сфалерита и тонкими каймами по залябандам мелких прожилков, центральная часть которых выполнена кальцитом.

В полированных шлифах настуран чаще всего наблюдался рассеянным в сфалерите, где для него характерны почковидные колломорфные выделения, имеющие сотые и десятые доли миллиметра в поперечнике (рис.5). Наблюдения над взаимоотношениями настурана с другими минералами рудных прожилков показывают весьма противоречивую картину. Чаще всего настуран выделяется первым; сульфиды галенит, сфалерит, молибденит — окаймляют почки настурана и выполняют трещины в них. Однако нередко почки сфалерита и дендриты галенита являются центрами, вокруг которых формируются почки настурана (рис.6). Сказанное заставляет считать, что сульфиды выделялись близко одновременно с настураном и имеют несколько генераций.

Сфалерит является наиболее распространенным минералом рудных прожилков. Он представлен колломорфными, чаще всего почковидными образованиями, реже мелкими каймами. Цвет сфалерита меняется от черного, характерного для ранних его генераций, до медово-желтого, свойственного поздним генерациям. Из элементов-примесей в сфалерите, независимо от его цвета, определены только десятые доли процента кадмия и железа. Столь низкие количества железа заставляют предположить, что черный цвет минерала объясняется

2741-42

-13-

тонкодисперсными включениями настурана и других рудных минералов.

Не останавливаясь на описании остальных минералов, еще раз подчеркиваем, что из встреченных в парагенезисе с настураном распространенными являются только сфалерит и настуран. В подчиненном количестве находятся также галенит и молибденит. Остальные минералы играют ничтожную роль.

г) Парагенетическая ассоциация настурана с сульфидами меди

Этот парагенезис пользуется широким распространением на ряде месторождений Советского Союза.

Наиболее характерные и хорошо изученные месторождения расположены в кислых эффузивных, мелкозернистых гранитах и диоритах. Месторождения данной парагенетической ассоциации сформированы в несколько стадий минерализации, представленных жилами различного состава. Их можно сгруппировать следующим образом.

К первой стадии относятся кварцевые жилы, содержащие небольшие количества вольфрамита, касситерита, шеелита, иногда магнетита, апатита и антимонита. На многих месторождениях жилы данной стадии отсутствуют.

Ко второй стадии относятся кварц-сульфидные жилы, в которую выделилась большая часть сульфидов, а в некоторых месторождениях также гематит. На одних месторождениях в составе жил преобладают висмутин, висмутовые сульфосоли, халькопирит, гематит и ортоклаз; на других — сфалерит, галенит и арсенопирит; на третьих же сульфиды представлены лишь небольшим количеством пирита.

К третьей стадии относятся кварцевые, кварц-баритовые, баритовые, барит-карбонатные и карбонатные жилы, содержащие различные количества галенита, сфалерита, халькопирита и блеклых руд.

К четвертой стадии относятся настуран-карбонат-сульфидные прожилки. Последние повсюду заканчивают процесс формирования месторождений, накладываясь на более ранние жилы.

Жилы ранних стадий минерализации имеют обычно значительные размеры; длина их измеряется первыми десятками метров, а мощность достигает 1-1,5 м. Настурановые прожилки резко отличаются от них незначительными размерами: мощность их редко превышает 1-1,5 см при длине в несколько десятков сантиметров.

Породы, вмещающие рудные жилы, на всех месторождениях подверглись интенсивному гидротермальному метаморфизму. Изменение пород

-14-

выразилось в развитии по первичным минералам кварца, серицита, хлорита, карбоната, а на некоторых месторождениях также калиевого полевого шпата. Это изменение предшествует настурановой минерализации. Специфическое изменение вмещающих пород, связанное с настурановыми прожилками, выражено только интенсивным покраснением, обусловленным появлением в породах тонкораспыленных окислов железа. В отдельных случаях отмечается хлоритизация вмещающих пород.

В парагенетической ассоциации с настураном установлены самородные элементы (медь, висмут, серебро), гётит, гематит (гидрогематит,), халькопирит, марказит, борнит, халькозин, ковеллин, сфалерит, галенит, теннантит, виттихенит, молибденит, кальцит, изредка кварц, хлорит, доломит и барит. Распределение этих минералов в прожилках с настураном крайне неравномерное.

Установлено, что состав прожилков с настураном находится в прямой зависимости от состава жильных образований или пород, в которых они залегают. Пржилки настурана с сульфидами меди обычно залегают в породах или жилах, содержащих вкрапленность халькопирита. Среди пород, обогащенных пиритом, в ассоциации с настураном преобладает марказит, а в породах, бедных сульфидами, настуран ассоциируется преимущественно с кальцитом.

Особенно отчетливо эта закономерность проявилась на месторождениях, залегающих в кислых эффузивах. На одном из них наблюдается зональное распределение минералов кварц-сульфидной стадии: минералы меди и висмута сосредоточены преимущественно вблизи сочленения рудной зоны с рудоконтролирующим разломом, за пределами которого широко развиты пирит-гематитовые жилы. С глубиной количество пирита уменьшается, и жилы содержат главным образом гематит. Аналогичная зональность наблюдается и в распределении парагенетических ассоциаций настурана. Отмеченная закономерность иллюстрируется рис.7. Эта особенность во многих случаях, по-видимому, связана с переотложением сульфидов ураноносными растворами. Однако появление значительных количеств сульфидов меди в парагенезисе с настураном не всегда можно объяснить их переотложением в результате взаимодействия растворов с минералами вмещающей среды. Так, на некоторых рудопоявлениях в парагенезисе с настураном установлены значительные количества халькопирита и борнита при почти полном

2741-412

-15-

отсутствии каких бы то ни было сульфидов меди в жилах более ранних стадий минерализации.

Ниже приводится краткая характеристика главных минералов, слагающих прожилки с настураном.

Настуран характеризуется колломорфным сложением и образует корочки, прожилки, почки и сферические выделения.

Кальцит — один из наиболее характерных спутников настурана. Он имеет розоватую или желтоватую, реже кирпично-красную окраску. Наблюдается несколько генераций кальцита. Наиболее ранняя из них предшествует отложению настурана, остальные чередуются с ним.

Гидрогематит наиболее широко распространен в парагенетической ассоциации настурана с самородными элементами и окислами железа, реже встречается в ассоциации с кальцитом и сульфидами. По времени выделения минерал близок к кальциту ранних генераций, предшествующему выделению основной массы настурана. Гидрогематит образует тонкие хлопьевидные и игольчатые выделения в кальците, окрашивая его в кирпично-красный цвет.

Гетит широко распространен в прожилках настуран-кальцитового состава, реже встречается в прожилках настурана с сульфидами меди. Он образует сферические выделения в кальците и иногда корродируется более поздними марказитом и халькопиритом.

Самородная медь и самородный висмут установлены только в отдельных месторождениях. Они встречены в виде мелких дендритовидных или изометричных выделений, заключенных в настуране или кальците (рис. 8). Настуран, содержащий самородную медь и висмут, нередко пересекается тонкими прожилками халькопирита и других сульфидов, что свидетельствует о более раннем выделении самородных выделений по сравнению с ними.

Ковеллин наблюдается в виде почек и пластинок среди настурана и кальцита. Он интенсивно замещается борнитом и халькопиритом с образованием псевдоморфоз по нему.

Халькозин ассоциируется с ковеллином или образует колломорфно-зональные почки с настураном. Он относится к ромбической модификации; выделяется после ковеллина, но до борнита и халькопирита, которые его замещают. На некоторых месторождениях этого типа халькозин является главным минералом, ассоциирующим с настураном.

Борнит образует псевдоморфозы по ковеллину пластинчатой формы с трещинами отдельности и реликтами ковеллина. Реже выделя-

2741-42

-16-

ется в виде самостоятельных колломорфных выделений, в которых тонко переслаивается с халькопиритом. В таких зональных почках зоны, сложенные борнитом, обычно содержат решетчатые вроски халькопирита. Ориентировка пластинок халькопирита различна в различных зернах борнита, благодаря чему создается своеобразное "перистое" строение почек (рис.9). Решетчатые срастания борнита с халькопиритом типичны для описанных в литературе структур распада твердых растворов. Иногда наблюдается замещение борнита халькопиритом, также сопровождаемое образованием решетчатых структур.

Галенит и сфалерит в данной парагенетической ассоциации встречаются с настураном постоянно, но в небольших количествах. Они образуют тонкую вкрапленность в настуране или выполняют трещинки усыхания в нем.

Халькопирит является наиболее распространенным рудным минералом, ассоциирующим с настураном. Он образует натечные колломорфные формы с перистым или тонкозональным строением (рис.10). Халькопирит наряду с марказитом, а иногда в виттихенитом по времени выделения является наиболее поздним минералом; он нередко замещает ранее образовавшиеся сульфиды меди: ковеллин, халькозин и борнит. Встречаются также мелкие колломорфно-зональные халькопирит-настурановые почки.

Виттихенит встречается в виде изометричных мелких кристалликов, нарастающих на скоплениях настурана (рис.11).

Марказит в ассоциации с настураном наблюдается в виде типичных почковидных натечных образований, реже в виде копьевидных кристалликов и звездчатых сростков. Наблюдаются включения марказита в настуране, часто образующие колломорфно-зональные почки. Главная масса марказита выделилась после образования всех сульфидов, но некоторая его часть близка к ковеллину.

Проведенное изучение соотношений минералов карбонатно-сульфидно-настурановой стадии минерализации позволяет установить последовательность их выделения. На многих месторождениях вначале из раствора отложился кальцит с распыленными в нем гидроокислами железа. Позднее выделились самородные медь и висмут. К этому же времени относится выделение основной массы настурана, последние генерации которого образуют тесные срастания с галенитом, халькопиритом, марказитом и другими сульфидами. В некоторых случаях формирование

-17-

прожилков начиналось непосредственно с отложения настурана, за которыми следовали сульфиды и кальцит. Основная масса сульфидов отложилась после настурана. Самые поздние генерации кальцита не содержат включений окислов железа, а ассоциируются с сульфидами. Таким образом, формирование прожилков с настураном начиналось с отложения окислов железа и заканчивалось сульфидами. Основная масса настурана выделилась после окислов, но до сульфидов, почти одновременно с самородными элементами.

Ранее уже отмечалось, что прожилки настурана встречаются среди жильных образований более ранних стадий минерализации. В контакте с ними более ранние минералы становятся неустойчивыми и замещаются другими минералами. Наименее устойчивым является халькопирит. В контакте с прожилками настурана он замещается борнитом, затем халькозином или ковеллином, которые, в свою очередь, часто снова замещаются борнитом и халькопиритом. Халькопирит на контакте с прожилками настурана иногда замещается также халькозином в смеси с гематитом или гётитом.

274142  
Пирит в контакте с прожилками настурана замещается кальцитом, халькопиритом, реже виттихенитом, а также кальцитом с включениями гидроокислов железа, реже настурана. Замещение пирита халькозином и виттихенитом широко развито вблизи прожилков настурана, содержащих самородную медь. Замещение пирита халькопиритом встречается вблизи настурансодержащих прожилков, богатых этим минералом, а замещение его кальцитом с включениями настурана и гидроокислов железа широко отмечается вблизи прожилков настурана, содержащих большие количества кальцита. Висмутин в контакте с настурановыми прожилками замещается медно-висмутовыми минералами - вначале эмплектитом, затем клапролитом и виттихенитом. Последний иногда замещается халькозином, реже халькопиритом. В халькозине, замещающем виттихенит, иногда встречаются включения гидрогематита.

Наиболее устойчивым минералом является гематит, который изредка замещается кальцитом с включениями настурана, а иногда самородной меди. Наблюдалось также замещение гематита халькопиритом и марказитом.

Характерной чертой большинства месторождений, на которых развита парагенетическая ассоциация настурана с сульфидами меди, является зависимость состава настурановых прожилков от состава среды, в которой они расположены. Это связано, по-видимому, с растворением и переотложением минералов, прежде всего сульфидов, растворами, из



-18-

которых отлагался настуран. Отсутствие сульфидных минералов в ассоциации с настураном в тех участках, где сульфиды во вмещающих породах редки, свидетельствует о преимущественно карбонатном составе растворов, приносящих уран. Другие компоненты, в том числе и сера, вряд ли содержались в значительных количествах.

Замещение более ранних минералов на контакте с настуран-содержащими прожилками свидетельствует о высокой активности ураноносных растворов, выносивших из породы железо, медь, сульфидную серу и ряд других компонентов.

Приведенные особенности настурановой минерализации в данной парагенетической ассоциации свидетельствуют о высокой концентрации кислорода в ураноносных растворах. Это позволяет сделать вывод о том, что уран приносился в шестивалентной форме. В результате взаимодействия с минералами вмещающей среды он восстанавливался до четырехвалентного состояния с образованием настурана. К концу формирования прожилков концентрация кислорода в растворах существенно уменьшалась, в то время как заметно увеличивалась концентрация серы.

#### д) Настуран-кварц-пиритовая парагенетическая ассоциация

Месторождения, в которых кварц и пирит являются главными парагенными настурану минералами, в Советском Союзе пользуются небольшим распространением, хотя пирит и незначительные количества кварца в настурансодержащих прожилках встречаются почти повсеместно.

Месторождения, представляющие данную парагенетическую ассоциацию, расположены среди крупнозернистых гранитов и сформированы в две стадии минерализации.

Первая стадия минерализации представлена протяженными и мощными кварц-сульфидными жилами и окварцеванием вмещающих пород. В жилах этой стадии наиболее распространенным рудным минералом является пирит, за которым следуют, заметно уступая ему по количеству, халькопирит, молибденит, арсенопирит, рутил, магнетит, гематит, галенит, сфалерит, пирротин. Жильная масса в основном сложена кварцем, в котором в виде гнезд и прожилков видны карбонаты (анкерит и кальцит), а на отдельных участках также флюорит, хлорит, мусковит, альбит.

Вторая стадия минерализации -настурановая -представлена густой сетью прожилков настуран-кварц-сульфидного состава, распо-

-19-

ложенных в жилах первой стадии минерализации. Эти прожилки имеют длину 10-25 см и мощности, не превышающие первые миллиметры. Ими сложены рудные тела линзовидной формы, вытянутые согласно общему направлению минерализованных зон.

В прожилках в парагенетической ассоциации с настураном встречаются кварц, пирит, в подчиненных количествах -галенит, халькопирит, сфалерит, марказит, небольшие количества молибденита и кальцита. Особенности минералогического состава и взаимоотношений минералов, ассоциирующих с настураном, изложены ниже.

Настуран выделяется в зальбандах прожилков, образуя ровные оторочки. Центральная часть таких прожилков выполнена кварцем. Наблюдаются и почти мономинеральные прожилки настурана, разбитые поперечными трещинками усыхания, заполненными кварцем или сульфидами.

Микроскопическое изучение показало, что для настурана характерно несколько генераций, выделение которых чередуется с выделением кварца. Прожилки настурана в таких случаях приобретают симметрично-полосчатое строение, обусловленное чередованием полос кварца и настурана, последовательно нарастающих друг на друга. Полосы кварца при этом сложены микропризматическими кристаллами, острые вершины которых направлены к центру прожилка. На вершины кристаллов кварца нарастают каймы настурана, причем полусферические поверхности его выделений направлены также к центру прожилков. Настуран нередко содержит тонко распыленную вкрапленность сульфидов, особенно галенита.

Следующим по распространенности рудным минералом является пирит. По форме выделения наблюдается две его разновидности. К первой разновидности относятся крупные почки, достигающие 1-2 мм в диаметре, заключенные в кварце или нарастающие на корочках настурана. Почки и корочки пирита разбиты радиальными трещинками усыхания. Иногда в центральных частях почек пирита наблюдаются мелкие кристаллики галенита. Ко второй разновидности принадлежат игольчатые и пластинчатые, очень мелкие, обильные выделения пирита, заключенные в кварце, выполняющем межпочечное пространство в настуране. Этот пирит, по-видимому, является псевдоморфным по марказиту. Встречаются также мелкие концентрически зональные настуран-пиритовые образования.

Кварц является главным жильным минералом настурановых про-

2711-42



-20-

жилков. Он характеризуется чрезвычайно мелкими размерами зерен, которые не превышают сотых долей миллиметра. Форма зерен неправильная, изометричная, реже призматическая. Призматические кристаллики кварца наблюдаются на стенках мельчайших пустоток в центральных частях прожилков. Кварц насыщен мельчайшими выделениями пирита или настурана, которые придают ему коричневатый или темно-серый цвет. Агрегаты кварца нередко разбиты трещинами усыхания, расположенными поперек прожилков. Серицит и хлорит встречены в отдельных шлифах в виде тонкочешуйчатых агрегатов среди кварца.

е) Настуран-антимонит-марказитовая парагенетическая ассоциация

Парагенетическая ассоциация настурана с антимонитом встречается в ряде сурьмяно-ртутных месторождений, которые приурочены к зонам брекчированных пород, расположенных в основном вдоль контакта сланцев и известняков. В пределах месторождений брекчированные породы представляют собой сильно окварцованные обломки известняков и сланцев, сцементированные гидротермальными минералами, среди которых наиболее распространенными являются кварц, кальцит, а из рудных минералов - антимонит. В подчиненных количествах встречены также барит, флюорит, киноварь, пирит, марказит, реальгар и аурипигмент.

Урановое оруденение находится главным образом в глинистых сланцах и реже в известняках. Настурансодержащие рудные тела имеют линзовидную форму и небольшие размеры. Возрастные взаимоотношения сурьмяно-ртутного и уранового оруденения не выяснены.

Детальным изучением было выявлено, что урановые минералы в контурах ураноносных участков распространены довольно неравномерно.

Микроскопическое изучение показывает, что урансодержащие образцы содержат повышенные количества колломорфного марказита, менее антимонита, сфалерита и настурана. Из жильных минералов установлен кварц.

Марказит представлен конкрециями и корковидными скоплениями, состоящими из сферических колломорфных и криптокристаллических выделений, имеющих 0,015-0,020 мм в диаметре.

Встречающиеся в марказите включения антимонита, сфалерита и настурана выполняют пространство между почками или трещины в

-2I-

марказите. Спектральным анализом в марказите, кроме железа, установлены небольшие количества сурьмы, свинца, цинка, таллия, хрома и некоторых других элементов.

Настуран - довольно редкий минерал. Во всех наблюдаемых случаях настуран отмечался в ассоциации с марказитом, располагаясь каймами по периферии скоплений последнего или точечными включениями в нем.

Среди настурана встречены включения антимонита до 0,005 мм в поперечнике. Иногда отмечаются почковидные выделения, в которых внешняя кайма сложена марказитом, а центральная часть выполнена последовательно (от периферии к центру) антимонитом, настураном и нерудным минералом.

Антимонит в парагенетической ассоциации с настураном встречается в крайне небольших количествах. Он представлен прожилковидными скоплениями мощностью 0,1 мм или чаще неправильной формы включениями в настуране. Во всех случаях скопления антимонита состоят из пластинчатых кристаллов, имеющих 0,05 мм в длину при ширине порядка 0,005 мм. Остальные парагенные настурану минералы отмечаются в ничтожном количестве.

Настуран-антимонито-марказитовая парагенетическая ассоциация пространственно обособлена от других парагенетических ассоциаций этого минерала. Из-за незначительных размеров рудных тел и низкого содержания металла в них промышленного значения она не имеет.

## 2. НАСТУРАН-ДИАРСЕНИДНАЯ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ

Парагенетическая ассоциация настурана с диарсенидами установлена только в месторождениях, залегающих в габбро-диоритах или в адаметлитах вблизи их контакта с основными породами. Рудные тела имеют форму крутопадающих столбов и линз, приуроченных к месту пересечения двух систем крутопадающих трещин.

На месторождении встречены минералы трех стадий минерализации. Наиболее ранними являются кварц-сульфидные жилы, в которых встречены следующие минералы, перечисленные в порядке последовательности их образования: пирит, кварц, серицит, сфалерит, халькопирит и галенит. Видимо, к этой же стадии относится висмутин. Эти жилы встречаются редко. Ко второй стадии относятся настуран-диарсенидные рудные тела, в которых особенно обильны лёллингит, минералы группы сафлорит-раммельсбергита и смальтин-хлоантита.

2741-42

-22-

Реже встречаются пирит, галенит, сфалерит, халькопирит. Довольно обильны самородные элементы: мышьяк, серебро, висмут и менее сурьма. Жильные минералы широко представлены кварцем, менее - анкеритом, кальцитом, хлоритом и серицитом. Последовательность выделения минералов следующая: кубические диарсениды, кварц, серицит, ромбические диарсениды, сульфиды, анкерит, кальцит. Отложение настурана началось после кубических диарсенидов и продолжалось совместно со всеми последующими минералами, перечисленными выше, включая кальцит. Однако основное количество этого минерала выделилось совместно с ромбическими диарсенидами и анкеритом. В третью стадию отложились кварц-карбонатные, карбонатные и цеолит-карбонатные прожилки, в которых встречены кварц, кальцит, хлорит, барит, цеолиты (ламантит), пренит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда. Кроме того, встречены единичные жилы кварц-баритового состава и мелкие гнезда гематита, возрастное положение которых не совсем ясно.

Настуран является распространенным минералом урановых рудных тел. Иногда он представлен мономинеральными скоплениями неправильной формы, имеющими первые сантиметры в поперечнике, чаще же образует мелкие каймы вокруг диарсенидов и карбонатов или вкрапленники в них. Каймы и почки настурана обычно разбиты трещинками, залеченными кальцитом, реже сульфидами и диарсенидами.

Наряду с колломорфными выделениями настурана иногда видны кристаллики уранинита. Последние нередко отлагаются на каймах настурана.

Диарсениды в составе урановых рудных тел являются наиболее распространенными минералами. Среди них имеются кубические и ромбические разновидности. Первые относятся к смальтин-хлоантиту, вторые - к лёллингиту и сафлорит-раммельсбергиту. Те и другие образуют в рудном теле скопления неправильной формы до нескольких десятков сантиметров в поперечнике и мелкие вкрапленники среди кварца.

Кубические диарсениды чаще всего образуют сплошные скопления, в которых макроскопически не заметно отдельных кристаллов. Микроскопическое изучение показало, что эти скопления состоят из кубических, часто зональных кристаллов, находящихся в тесном сростании с кварцем.

Ромбические диарсениды характеризуются звездчатыми скоп-

-23-

лениями, реже тонкозернистыми агрегатами, и совсем редко призматическими кристаллами. Обращает на себя внимание заметный антагонизм между кубическими и ромбическими диарсенидами, что приводит к преимущественной концентрации этих минералов в разных участках рудных тел и даже в разных рудных телах.

Анкерит-довольно распространенный минерал данной парагенетической ассоциации. Основная масса этого минерала отлагается вслед за диарсенидами в виде полосчатых скоплений, в которых видно чередование настурана и анкерита. Эти полосы состоят из зерен размером до 1 мм.

Кроме перечисленных минералов, на месторождениях отмечаются также кобальтин, аргентит, герсдорфит, молибденит, прустит. Эти минералы встречены в крайне незначительных количествах.

Как видно из описания, настуран-диарсенидная парагенетическая ассоциация характеризуется исключительным разнообразием минералогического состава, позволяющим, несмотря на некоторые отличия, отнести представляющие ее месторождения к так называемой пентиметальной формации.

### 3. ПАРАГЕНЕТИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НАСТУРАНА И УРАНИНИТА С КАРБОНАТАМИ

#### а) Настуран-кальцитовая парагенетическая ассоциация

Карбонаты в парагенетической ассоциации с настураном в том или ином количестве встречаются практически во всех парагенетических ассоциациях, где они соответственно и описаны. Однако имеется ряд месторождений или участков месторождений, в которых карбонаты и настуран слагают подавляющую массу жильного выполнения, в то время как остальные минералы составляют ничтожную часть этого выполнения. Типичные из этих месторождений и описываются ниже.

Промышленные месторождения, представляющие настуран-карбонатную парагенетическую ассоциацию, располагаются в эффузивных породах, по составу отвечающих кварцевым порфирам, реже в интрузивных и жильных породах - гранит-порфирах, кварцевых сиенит-порфирах и кварцевых порфирах.

Рудные тела образуются путем заполнения полостей. Метасо-

- 24 -

матическая вкрапленность рудных минералов в породе также имеет место, но играет подчиненную роль. Форма рудных тел линзобразная, реже столбообразная. Размеры их относительно небольшие.

В месторождениях, заключающих настуран-карбонатную парагенетическую ассоциацию, установлены гидротермальные жилы и вкрапленные зоны различного состава и относительного возраста. Изучение показало, что наиболее ранними на месторождениях являются кварцевые, кварц-сульфидные и иногда кварц-гематитовые жилы, за которыми следуют жилы кварц-баритового, барит-карбонатного и карбонат-флюоритового состава. Завершающими в этих месторождениях являются настуран-карбонатные прожилки. Перечисленные группы жил отделены друг от друга тектоническими подвижками и, по мнению исследователей, изучавших эти месторождения, представляют собой отдельные стадии единого процесса.

В составе кварц-сульфидных, а также барит-карбонатных и карбонат-флюоритовых жил наряду с жильными минералами широко представлены сульфиды - пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, в отдельных месторождениях - висмутин и арсенопирит. Длина жил до настурановых стадий колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров.

Характерной чертой настуран-карбонатных прожилков, слагающих урановые рудные тела данного типа, является исключительная простота их состава. Они состоят главным образом из настурана и карбоната, которым в подавляющем числе месторождений является кальцит и только в некоторых - анкерит. Кроме этих минералов, в крайне небольших количествах отмечаются гётит, гидрогематит, пирит, марказит, галенит, халькопирит, сфалерит, кварц и барит, а также некоторые другие минералы. Длина прожилков настурана измеряется первыми метрами; мощность - от первых миллиметров до 2 см.

Для кальцит-настурановых прожилков характерно симметрично-полосчатое строение, которое чаще всего выражается в том, что в их зальбандах расположены рудные минералы, прежде всего настуран, а в центральной части - карбонаты (рис. 12).

В том случае, когда в прожилках имеются сульфиды, они отлагаются после настурана и до кальцита. Обычно непосредственно за настураном выделяется пирит и реже марказит, которые окаймляются халькопиритом, нередко находящимся в тонком срастании с клейофаном. Галенит отлагается после халькопирита и клейофана.

-25-

Иногда зональное строение прожилков более сложное. В этом случае нередко каймы настурана отделяются от вмещающих пород прерывистыми полосами кальцита, содержащего тонкораспыленные гидрокислы железа - гидрогематита и гётита. Иногда наблюдались также оторочки гребенчатого кварца мощностью 1-2 мм, на которых нарастают каймы настурана. Оторочка настурана в зальбандах прожилков весьма не выдержана. Она обычно наблюдается в участках, где мощность прожилков уменьшается и отсутствует в их раздувах. Мощность кайм настурана редко превышает первые миллиметры, достигая в единичных случаях 1-2 см (рис. 12). Иногда скопления настурана отмечаются в центральных частях прожилков, где окаймляют обломки вмещающих пород. Кратко остановимся на минералах, входящих в настуран-карбонатную парагенетическую ассоциацию.

Настуран представлен плотными корками, часто разбитыми сетью мелких трещин, выполненных карбонатами с кальцитом, а иногда анкеритом, сульфидами или теми и другими вместе. Корки состоят из сросшихся полусфер, обращенных выпуклой стороной к центру прожилка.

Кальцит, слагающий основную массу прожилков, имеет розоватый, реже коричневатый и еще реже сероватый цвет. Иногда в центре прожилков виден прозрачный кальцит. Под микроскопом в кальците часто видны реликты колломорфного строения, которые обнаруживаются по расположению кайм настурана и еще чаще гётита (рис. 13).

Анкерит в парагенетической ассоциации с настураном встречен в единичных мелких месторождениях и представлен марганцовистой разновидностью. Кальцит здесь обычно отсутствует. Анкерит выполняет центральную часть анкерит-настурановых прожилков.

В парагенетической ассоциации с анкеритом и настураном в ничтожных количествах установлены халькопирит, галенит, клейофан, молибденит, кобальтин и сафлорит.

Гидрокислы железа особенно часто появляются в прожилках, секущих баритовые и гематитовые жилы.

В кальцит-настурановых прожилках иногда отмечаются также сульфиды меди - борнит, халькозин, ковеллин. Они наблюдаются в участках месторождений, в которых парагенетическая ассоциация настурана с кальцитом сменяется ассоциацией настурана с сульфидами меди.

Таким образом, особенностью данной парагенетической ассоциации минералов является простота ее минералогического состава. Широко распространенными минералами в рудных телах являются каль-

24-1442

-26-

цит и настуран. Остальные минералы в составе настуран-карбонатных прожилков играют ничтожную роль.

б) Уранинит-настуран-доломитовая парагенетическая ассоциация

Эта парагенетическая ассоциация в урановых месторождениях СССР имеет ограниченное распространение. Она встречена только в месторождениях, залегающих среди сильно дислоцированных метаморфических пород.

В составе рудных тел, представляющих данную парагенетическую ассоциацию, принимает участие более 40 эндогенных разновозрастных минералов, образовавшихся в три стадии минерализации.

В первую-стадию железорудного метасоматоза образовались магнетитно-железистые амфиболы, магнетит, гематит.

Во вторую-стадию натрового метасоматоза — широкое развитие получили эгирин, родузит, альбит, магнетит и гематит; в малых количествах отмечены также гидробиотит, циркон, апатит, сфен, пирит, халькопирит и марказит.

Третья-стадия уранового оруденения начинается с отложения карбонатов — доломита, анкерита, сидерита, вместе с которыми и несколько позднее выделились небольшие количества гематита, уранинита, настурана, хлорита, гидрослюд. Подавляющая часть перечисленных минералов отложилась в виде двух генераций. Заканчивается формирование месторождений отложением небольших количеств сульфидов — пирита, пирротина, арсенопирита, сфалерита, халькопирита, галенита, молибденита, марказита, а также кварца, барита и некоторых других минералов.

Уранинит является главным минералом уранинит-настуран-карбонатной парагенетической ассоциации. Наблюдаются две генерации уранинита. Уранинит первой генерации образует рассеянную вкрапленность среди карбонат-гематит-магнетитовых руб. Он представлен кристаллами кубической и октаэдрической формы 0,005–0,1 мм в поперечнике. Кристаллы уранинита обычно заключены в агрегатах доломита, анкерита, магнетита, гематита и выполняют промежутки между зернами этих минералов. Часто уранинит кристаллизуется вокруг зерен магнетита и табличек гематита, а иногда наблюдается также в зональном срастании с доломитом, гематитом и магнетитом. Местами вокруг зерен уранинита наблюдается кокардовая оторочка колломорф-



-27-

ного настурана и мартита. Уранинит второй генерации встречается в прожилках доломита, секущих вкрапленные руды. Обе генерации уранинита местами замещаются гидроокислами урана.

В составе минерала отмечаются повышенные количества свинца, который, по данным масс-спектральных анализов, имеет радиогенное происхождение.

Настуран, так же как уранинит, является одним из главных урановых минералов описываемой ассоциации. Наиболее ранняя и распространенная генерация настурана наблюдается в парагенетической ассоциации с уранинитом, карбонатами, гематитом и магнетитом.

Выделения настурана имеют вид микроколломорфных сферических образований (рис.14). Наблюдаются струйчатые, нитевидные и цепочковидные его выделения. Размер включений настурана обычно колеблется от 0,01 до 0,1 мм в поперечнике.

Вторая генерация настурана наблюдается в виде колломорфных и скрытокристаллических образований в кальцитовых прожилках, занимающих секущее положение по отношению к полосчатости вкрапленных урановых карбонат-гематит-магнетитовых руд и прожилков доломит-уранинитового состава.

Обе генерации настурана в той или иной степени гидратированы и замещены гидроокислами урана, причем наблюдаются все стадии замещения от тонких каемок по периферии зерен до образования полных псевдоморфоз (рис.15).

Гидроокислы урана-гидронастуран и ургит - развиваются по настурану и в меньшей степени по ураниниту. Они обычно ассоциируют с хлоритами, гидрослюдами и карбонатами, отличаются пониженной по сравнению с настураном отражательной способностью и повышенным содержанием воды, количество которой доходит до 9%.

Магнетит является одним из наиболее распространенных минералов карбонат-уранинит-настурановой ассоциации. Он образует в рудах либо ориентированные скопления в виде прослоев различной мощности, либо неравномерную, рассеянную вкрапленность.

Наблюдаются три генерации магнетита, образующие кубические зерна (размером от 0,01 до 0,05 мм), выделившиеся ранее урановых минералов. Магнетит замещается карбонатами - анкеритом, сидеритом и доломитом, а также корродируется урановыми минералами. При этом по краям зерен магнетита образуются каемки гематита и псевдоморфозы гематита по магнетиту (мартит). Кроме магнетита, в ру-

2741-42



-28-

дах встречается мушкетовит.

Гематит, так же как и магнетит, является широко распространенным минералом описываемой ассоциации и обычно встречается вместе с магнетитом. Он образует включения пластинчатой формы до 0,3 мм в длину. Встречаются четыре генерации гематита, три из которых выделились до образования минералов карбонат-уранинит-настурановой ассоциации. Скопления этого гематита окаймляются и корродируются агрегатами урановых минералов, и их парагенность ураниниту не всегда ясна. Четвертая генерация гематита по времени выделения связана с урановой минерализацией и в рудных зонах сопутствует ей. Гематит развивается по магнетиту, замещая его по краям зерен.

Доломит среди карбонатов является одним из распространенных минералов. Основная его масса выделилась в результате "карбонатного" метасоматоза. Он разъедает и замещает магнетит, родузит, эгирин и, в свою очередь, замещается кварцем, эгирином второй генерации и кросситом. С доломитом связано в основном проявление урановой минерализации. Более ранний доломит, представленный зернами неправильной формы, слагает тонкие прослойки в карбонат-гематит-магнетитовых рудах. Урановые минералы приурочены к стыкам зерен доломита, причем вокруг них видны бурые ореолы. Более поздний доломит в ассоциации с уранинитом второй генерации и кварцем образует жилки, секущие вкрапленные урановые карбонат-гематит-магнетитовые руды.

Анкерит обычно встречается в виде изометричных зерен, в тонком полосчатом срастании с магнетитом. В присутствии урановых минералов анкерит на границе с последними объединяется с железом, в результате чего образуется кальцит.

Сидерит - мало распространенный в рудах минерал, развивается обычно в промежутках между зернами доломита первой генерации.

Кальцит в урановых рудах выполняет промежутки между зернами доломита. Он часто окрашен в розовый и буровато-красный цвет; образует зернистые агрегаты, гнезда, жилки.

Наблюдаются прожилки кальцита, секущие вкрапленные урановые карбонат-гематит-магнетитовые руды. С этим кальцитом связано образование настурана второй генерации.

Для урановых рудных тел характерны мелкие прожилки поперечно-волокнистого кальцита и арагонита, выполняющих трещинки среди

-29-

вкрапленных и вкрапленно-прожилковых руд.

Хлориты образуют тонкочешуйчатые и пластинчатые агрегаты. Они являются характерными спутниками уранового оруденения, причем к участкам развития хлоритов обычно приурочиваются гидроокислы урана. Среди хлоритов устанавливаются железистые, железисто-магнезиальные и магнезиальные разновидности. Хлориты развиваются по амфиболам и карбонатам; они образуют жилки, секущие урановые минералы, и оболочки вокруг вкрапленников последних.

В тесной ассоциации с хлоритами встречаются гидрослюда, которые обычно развиваются вокруг зерен урановых минералов, магнетита, пирита, а также замещают карбонаты. Совместно с хлоритом они образуют тонкие жилки, секущие урановые минералы и оболочки вокруг последних.

Таким образом, для данной парагенетической ассоциации характерны: приуроченность урановой минерализации к метаморфическим породам, широкое проявление метасоматических процессов в формировании месторождений и сложный минералогический состав руд.

#### в) Парагенетическая ассоциация настурана с кальцитом и гидроокислами железа

Гидроокислы железа в парагенетической ассоциации с настураном и кальцитом являются обычными минералами, но количество их в разных месторождениях весьма различное. Эти минералы исключительно редки в парагенезисе настурана с молибденитом, настурана с галенитом, настурана со сфалеритом, настурана с флюоритом. Более часто гидроокислы железа встречаются в парагенезисе настурана с кальцитом, с самородными элементами и с сульфидами меди. В некоторых месторождениях гидроокислы железа являются главными минералами отдельных урановых рудных тел, в то время как остальные тела этих месторождений представлены парагенетическими ассоциациями настурана с кальцитом или настурана с сульфидами меди. Не останавливаясь на геологических вопросах и минералах донастурановых стадий минерализации, которые освещены при описании настуран-кальцитовой и настуран-сульфидной меди парагенетических ассоциаций, перейдем к характеристике минералогии рудных тел, представляющих данную парагенетическую ассоциацию.

Состав рудных тел, представляющих данную парагенетическую

P 741-42

ассоциацию, весьма сложный: в них в количественном отношении наибольшее значение имеют гидроокислы железа (гётит, гидрогематит), хлорит и несколько меньшее—кальцит, кварц и настуран. В небольших количествах отмечены также халькопирит, борнит, галенит, сфалерит, халькозин, ковеллин, пирит, марказит, блеклая руда, самородное серебро. Строение рудных тел имеет свои особенности, которые выражаются в следующем: в центральной их части сосредоточены наиболее богатые скопления настурана, ассоциирующего с гидроокислами железа. По мере удаления от центральной части к флангам рудных тел количество настурана и гидроокислов железа постепенно уменьшается, и главную роль начинает играть железистый хлорит. Характерно, что из сульфидов меди халькопирит наблюдается в участках развития хлорита, а борнит, халькозин и ковеллин в ассоциации с окислами железа.

Жильное выполнение состоит из обломков сильно измененных вмещающих пород, почек, сложенных гидроокислами железа и хлоритом, а также кальцитом с небольшим количеством рудных минералов, цементирующих обломки и почки.

В отдельных участках на границе рудных тел с вмещающими породами видны полоски гребенчатого кварца мощностью 1-2 мм и длиной 5-15 см. Кварцевые кристаллы в этих полосках вершинами обращены к центру рудных скоплений.

Настуран в этой ассоциации встречается довольно часто. Он представлен включениями, имеющими несколько миллиметров в поперечнике или сферическими и неправильной формы образованиями, достигающими тысячных долей миллиметра в поперечнике. Те и другие располагаются среди гидроокислов железа и кальцита.

Отличительной особенностью этого настурана является его низкая отражательная способность. В почках, сложенных хлоритом и гидроокислами железа, настуран находится всегда среди последних. Он располагается в них как во внешних каймах, так и в прожилках, в которых замещает хлорит.

В кальците настуран располагается ближе к гидроокислам железа. Он представлен неправильными мелкими скоплениями, одиночными шариками, цепочками шариков, каемками вокруг различных минералов.

Гидроокислы железа (гётит, гидрогематит) в описываемой парagenетической ассоциации настурана являются наиболее распространенными минералами. Среди них по времени выделения отчетливо выделяются две основные группы, а именно:

-31-

- 1) гидроокислы железа, сингенетичные хлориту;
- 2) гидроокислы железа, развивающиеся по хлориту, сингенетичные кальциту и настурану.

Донастурановые гидроокислы железа образуют единые почки с хлоритом, выполняя в них отдельные концентры. Характер контакта гидроокислов железа и хлорита в почках исключает предположение о замещении их друг другом и с несомненностью указывает на ритмичное их отложение с неоднократной сменой одних другими.

Гидроокислы железа в преобладающей массе имеют скрытокристаллическое строение и лишь в отдельных каймах или участках кайм видны мелкие кристаллики, среди которых можно выделить гётит и гидрогематит.

Парагенные настурану гидроокислы железа выделяются всегда позднее описанных почек. Они отмечаются по периферии этих почек или выполняют трещины в них, замещая хлорит (рис. 16). Гидроокислы железа в этих скоплениях выполняют межпочечное пространство в настуране или образуют столь тесное срастание с ним, что необходимо допустить их совместное выделение из растворов.

Гидроокислы железа вместе с настураном или без него отмечаются также в кальците в виде скоплений неправильной формы до 2-3 мм или правильных шариков и полусфер. Кроме того, они всегда обнаруживаются там, где имеет место замещение халькопирита борнитом (рис. 17).

Урановые рудные тела сопровождаются околожильным изменением вмещающих пород, выражающимся в образовании зон серицитизации, хлоритизации и гидрогематизации. Относительно рудных тел эти зоны располагаются в перечисленной выше последовательности, причем во внутренних частях располагаются гидрогематитизированные породы. Учитывая, что в месторождениях данного типа наблюдается пространственное совмещение жил разного состава и возраста, следует допустить, что хлоритизация вмещающих пород обязана процессам, приведшим к формированию кварц-сульфидных и барит-карбонатных жил, а с урановыми рудными телами, по-видимому, связана только их гидрогематитизация.

В составе жил с описываемой парагенетической ассоциацией настурана принимает участие большое количество минералов: самородные элементы, сульфиды, окислы, карбонаты, силикаты. По списочному составу минералов и пространственному положению рудных тел

274/1-42

-32-

данная ассоциация имеет много общего с карбонат-настурановой парагенетической ассоциацией. Обращает на себя внимание, что установленные минералы являются разновозрастными. Настуран отлагается совместно с более поздними минералами - гётитом, гидрогематитом, кальцитом и сульфидами - борнитом, халькозином и другими. В парагенезисе с более ранним хлоритом он не наблюдался. Изучение ореола околожильного изменения показывает, что минералы, его слагающие, сформированы в две стадии. Для первой стадии характерно развитие хлорита и серицита, для второй - гидрогематита, развивающегося по хлориту.

Своеобразие данной парагенетической ассоциации минералов, разновозрастность минералов, слагающих рудные тела, а также редкое нахождение их на территории Советского Союза объясняются особыми условиями, в которых они формируются. Как показало детальное изучение рудных тел данного типа, они возникают в результате наложения настурансодержащих прожилков на более ранние карбонат-сульфидные жилы. Карбонаты в последних относятся к железистым разностям; из сульфидов чаще всего встречаются халькопирит, галенит и сфалерит.

#### 4. НАСТУРАН-ГАЛОГЕНИДНАЯ ФЛЮОРИТОВАЯ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКАЯ АССОЦИАЦИЯ

Флюорит в парагенетической ассоциации с настураном - относительно мало распространенный минерал урановых месторождений Советского Союза. Имеются единичные месторождения, представленные описываемой парагенетической ассоциацией минералов, и месторождения, в которых эта ассоциация слагает небольшие обособленные участки в контурах рудных тел, сложенных иными парагенетическими ассоциациями.

Месторождения, в которых широко проявлена данная парагенетическая ассоциация в типичном ее проявлении, залегают среди интрузивных и жильных пород кислого состава - аляскитовых гранитов, гранит-порфиров, кварцевых порфиров и кварцевых сиенит-порфиров.

Среди месторождений, представляющих данную парагенетическую ассоциацию, имеются как одностадийные, в которых проявлена только настуран-флюоритовая стадия минерализации, так и многостадийные, содержащие кварцевые, кварц-сульфидные, барит-карбонатные жилы, по составу аналогичные жилам многостадийных месторождений, пред-

-33-

ставляющих настуран-кальцитовую и некоторые настуран-сульфидные парагенетические ассоциации. Особое положение занимают грейзеновые месторождения с наложенной настуран-флюоритовой минерализацией. В этих месторождениях наиболее ранними являются грейзены кварц-мусковитового состава, представленные линейновытянутыми зонами, прослеживающимися по простиранию на сотни метров. Мощность зон достигает первых десятков метров. В центральной части кварц-мусковитовых грейзеновых зон нередко видны грейзена кварц-топазового состава. Те и другие грейзены содержат заметное количество вкрапленников пирита, менее - арсенопирита, халькопирита, галенита, сфалерита. В небольших количествах встречены также молибденит, вольфрамит, касситерит, флюорит. В центральной части некоторых грейзенов встречены кварц-сульфидные жилы, в которых, кроме перечисленных выше минералов грейзенов, видны топаз и мусковит и единичные включения кобальт-никелевых минералов группы сафлорит-раммельсбергит. Параллельно грейзеновым зонам расположены зоны альбитизации, в которых крайне редко наблюдается флюорит. В грейзеновых зонах встречены также мелкие флюоритовые и единичные кальцитовые прожилки.

Настурансодержащие рудные тела расположены в контурах грейзеновых зон. Они завершают гидротермальную деятельность месторождений.

Форма урановых рудных тел в месторождениях, представляющих настуран-флюоритовую парагенетическую ассоциацию, жиллообразная, линзообразная со штокверковым и вкрапленным распределением минерализации. Известны также типичные флюоритовые жилы с непромышленным содержанием урана. Штокверки сложены различно ориентированными прожилками, в составе которых ведущее место принадлежит флюориту. Вместе с флюоритом в заметном количестве встречены настуран, немного пирита и марказит. Остальные минералы - халькопирит, сфалерит, галенит, сафлорит-раммельсбергит - установлены в ничтожном количестве, притом в отдельных участках рудных тел, а кальцит и молибденит только в настуран-кальцитовой и настурансульфидной парагенетических ассоциациях, где иногда также в заметных количествах находится флюорит.

Флюорит составляет не менее 80% объема жильной массы. Он представлен темно-фиолетовыми или черными тонкокристаллическими и иногда крупнокристаллическими разностями. Микроскопическое изу-



чение показывает, что окраска минерала распределена в зернах крайне неравномерно: на фоне бесцветной и слабо-окрашенной массы флюорита видны неправильной формы густо-фиолетовые пятна, в центре которых нередко наблюдается настуран.

Некоторые кристаллы флюорита имеют зональное строение, обусловленное чередованием зон с разной по интенсивности окраской. Химический анализ флюоритов показал содержание в них до 0,6% урана. Во всех наблюдаемых случаях флюорит является наиболее поздним минералом прожилков, выполняющим их центральную часть.

Настуран встречен в составе флюоритовых прожилков в заметном количестве. Он чаще всего располагается каймами на стенках трещин или по обломкам пород, реже представлен мелкими почками. Толщина кайм измеряется сотнями долями миллиметра и лишь в единичных случаях достигает 5 мм.

Сфалерит, галенит, халькопирит, сафлорит-раммельсбергит представлены обособленными включениями, измеряемыми долями миллиметра в поперечнике, и выделялись обычно после настурана. Они встречены в участках месторождений, в которых настуран-флюоритовые прожилки контактируют с этими же минералами, но образованными в стадии, предшествующей настуран-флюоритовой. Последнее наводит на мысль о том, что эти минералы являются переотложенными.

Таким образом, для флюорит-настурановой парагенетической ассоциации характерна исключительная простота минералогического состава настурансодержащих прожилков. Ведущим минералом в них является флюорит, который встречается вместе с заметными количествами настурана, небольшими-пирита, марказита и ничтожными-халькопирита, сфалерита, галенита, сафлорита-раммельсбергита и карбонатов.

#### П. П А Р А Г Е Н Е З И С С И Л И К А Т А У Р А Н А (Н Е Н А Д К Е В И Т А)

Эта ассоциация установлена среди магнетито-амфиболовых, амфиболо-сланцевых, кварцево-сланцевых сланцев, железистых кварцитов, доломитов, тальково-карбонатных пород, смятых в крутопадающие складки.

Породы, вмещающие оруденение, подверглись интенсивному метасоматозу, приведшему к их существенной переработке. В резуль-

тате метасоматоза магнетит, гематит, амфиболы, слюды, замещены альбитом, эгирином, глаукофаном, родузитом и другими метасоматическими минералами.

Урановые рудные тела, имеющие линзовидную форму, контролируются тектоническими нарушениями и располагаются в центрикли-нальных замыканиях и в крыльях складки.

В составе рудных тел, представляющих данную парагенетическую ассоциацию, установлено большое количество разновозрастных минералов, образовавшихся в три или даже четыре стадии минерализации.

В первую-стадию железорудного метасоматоза-образовались магнезиально-железистые и железисто-магнезиальные амфиболы, магнетит, гематит, кварц, пирит, пирротин. Во вторую-стадию натрового метасоматоза-отложились щелочные амфиболы ряда глаукофан-кроссит - радузит - рибекит, эгирин, альбит, а также небольшие количества граната, малакона, апатита, иттросфена. Количественно-минералогические подсчеты показывают, что в зонах натрового метасоматоза альбит резко преобладает над эгирином и щелочными амфиболами.

Одной из характерных особенностей минералов, отложившихся в стадию натрового метасоматоза, является наличие в них урана. Химическими анализами уран в долях процента обнаружен в альбите, щелочных амфиболах, апатите, малаконе, иттросфене (рис. 19).

Наличие урана в минералах натровой стадии метасоматоза некоторые исследователи рассматривают как доказательство генетической связи этой стадии со следующей - урановой.

В третью - урановую стадию минерализации - выделились гидробиотит, железная слюда, хлорит, кальцит, пирит. Из урановых минералов наибольшим распространением пользуется ненадкевит.

Ненадкевит наблюдается преимущественно в виде призматических кристаллов 0,05-0,001 мм в поперечнике, их сростков и реже плотных масс. Окраска ненадкевита разнообразная - от черной с зеленоватым оттенком до желтой. Он наблюдается в интерстициях зерен альбита (рис. 20), развивается в виде удлинённо-призматических кристаллов среди глаукофана, родузита и эгирина, залечивает трещины дробления в иттросфене, апатите, малаконе и обрастает их зерна. В отдельных случаях внутри ненадкевита отмечены кристаллы гидроокислов урана, отчетливо выделяющиеся более высокими показателями светопреломления. Кристаллы ненадкевита нередко "одеты в

2241-42



рубашку" из хлорита или гётита и окружены плеохроичными двориками.

Ненадкевит является водным силикатом урана, кальция, магния и редких земель. Он содержит значительные количества свинца и следы тория. Уран в минерале находится как в четырех-, так и шестивалентной форме, причем соотношение четырех-и шестивалентного урана в различно окрашенных его разностях закономерно меняется. В черных разностях сравнительно высокое содержание четырехвалентного урана (до 21%) и несколько понижено содержание шестивалентного урана, кальция, магния и редких земель. В светлых разностях количество четырехвалентного урана ничтожно (до 1%), но возрастает роль шестивалентного урана (до 66%), кальция, магния и редких земель.

Уранинит выделяется, так же как и ненадкевит, в виде мельчайших кристаллов в эгирине, амфиболах, альбите и обычно окаймлен "рубашками" гётита и хлорита.

Браннерит наблюдается в виде скошенных с треугольными очертаниями кристаллов в ассоциации с вышеописанными минералами. По размерам выделений, достигающим 0,6-1 см, он резко отличается от уранинита и ненадкевита.

Формирование месторождения заканчивается выделением карбонатов (доломита, анкерита, кальцита), сульфидов (пирита, галенита, сфалерита, халькопирита) и парагенного им хлорита. Основываясь на том, что эти минералы развиваются вдоль зон дробления, секущих и смещающих зоны с уранинит-ненадкевитовым парагенезисом, и на отсутствии в перечисленных выше минералах урана, их нередко относят к самостоятельной, четвертой стадии минерализации или же к концу третьей - урановой стадии минерализации.

### З а к л ю ч е н и е

Как видно из предыдущего описания, гидротермальные урановые месторождения расположены в породах различного состава. Рудные тела тяготеют к зонам региональных разломов, причем в самых крупных разломах урановая минерализация не встречается или устанавливается крайне редко. Рудные тела приурочиваются к оперяющим трещинам 2-го, 3-го и более высоких порядков.

Гидротермальные урановые минералы в месторождениях Советского Союза находятся в парагенетической ассоциации с большим чис-

лом минералов, среди которых особенно широко развиты сульфиды и карбонаты, значительно меньше силикаты, еще меньше окислы и галогениды и совсем редки сульфаты и самородные элементы.

Из перечисленных классов минералов только некоторые сульфиды (пирит, галенит) и карбонаты (кальцит) установлены в составе всех или большинства известных урановых месторождений, но в крайне переменных количествах. Среди минералов, широко представленных в отдельных месторождениях, отдельных рудных телах или в определенных участках этих тел, можно назвать висмутин, гидроокислы железа. Имеются также широко распространенные минералы, присутствующие повсеместно, но в незначительных количествах (марказит, арсенопирит). Наиболее обычным гипогенным урановым минералом является настуран, реже встречается уранинит. Ненадкевит характерен только для определенной группы месторождений.

В гидротермальных месторождениях Советского Союза наиболее распространены парагенезисы окислов урана, а среди них настуран-сульфидная и настуран-карбонатная парагенетические ассоциации.

2741-42  
Настуран-карбонатная парагенетическая ассоциация в наиболее типичном виде представлена в основном только карбонатом и настураном, вместе с которыми в крайне незначительных количествах встречены пирит, сфалерит, галенит, халькопирит и другие минералы, характерные для настуран-сульфидной парагенетической ассоциации. В некоторых месторождениях установлены также гидроокислы железа. Карбонаты в подавляющем числе месторождений представлены кальцитом, вместе с которым крайне редко видны небольшие количества анкерита и исключительно редко доломита.

Значительно реже встречаются месторождения, в которых главная масса карбонатов представлена доломитом и анкеритом, в то время как кальцит встречен в ничтожных количествах. При совместном нахождении разных карбонатов кальцит всегда выделяется последним.

В настуран-сульфидных парагенетических ассоциациях встречены пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, борнит, халькозин, ковеллин и другие менее распространенные рудные минералы, отмеченные при описании отдельных парагенетических ассоциаций. Жильные минералы представлены в основном кальцитом, иногда кварцем, а в некоторых месторождениях или их участках также гидрослюдами, хлоритом и флюоритом.

В размещении и условиях образования настуран-сульфидной пара-

генетической ассоциации намечаются некоторые закономерности.

Как видно из описания отдельных парагенетических ассоциаций, в них чаще всего наблюдаются следующие ассоциации сульфидов:

1) ассоциация настурана с халькопиритом, борнитом, халькозином, ковеллином, галенитом и сфалеритом; 2) ассоциация настурана с молибденитом, галенитом и сфалеритом; 3) ассоциация настурана с кварцем и пиритом; 4) ассоциация настурана с антимонитом, пиритом и марказитом. Главное различие между ними заключается в количестве сульфидов меди, железа, молибдена и сурьмы.

Подмечено, что большое количество сульфидов меди в парагенезисе с настураном установлено в тех месторождениях, в которых урановая минерализация накладывается на более ранние жилы, в которых одним из главных рудных минералов является халькопирит. При этом постоянно отмечается реакционное воздействие ураноносных растворов на донастурановый халькопирит, выражающееся в его замещении борнитом, халькозином, ковеллином и гидроокислами железа, парагенными настурану. В тех же случаях, когда урановые руды встречаются в этих месторождениях вне участков развития более раннего халькопирита, количество сульфидов меди в парагенезисе с настураном заметно уменьшается или они отсутствуют совсем, и руды становятся настуран-кальцитовыми.

Зависимость состава настурановых прожилков от донастурановых жил устанавливается не только для сульфидов меди, но и для некоторых других минералов. Так, при описании парагенетической ассоциации настурана с гидроокислами железа (гётитом и гидрогематитом) отмечено, что эта ассоциация возникла в результате воздействия ураноносных растворов на сидерит-сульфидные жилы. В участках этих месторождений, где настурансодержащие прожилки выполняют трещины в эффузивах, они представлены настуран-кальцитовой парагенетической ассоциацией. Отсюда напрашивается вывод, что гидроокислы железа возникают за счет железа донастурановых железосодержащих минералов (сидерит, хлорит, халькопирит и др.). Аналогичным является происхождение медно-висмутовых сульфосолей, которые обнаружены в тех участках месторождений, где настурансодержащие прожилки пересекают крупные скопления халькопирита и висмутита. Иногда то же происхождение имеют барит и пирит некоторых месторождений.

Следовательно, парагенетические ассоциации настурана с суль-

-39-

фидами меди и гидроокислами железа представляют собой в ряде случаев разновидности настуран-кальцитовой парагенетической ассоциации, обогащенной перечисленными выше минералами в результате взаимодействия гидротермальных растворов с вмещающей средой.

Как описано выше, месторождения, представляющие настуран-молибденитовую парагенетическую ассоциацию, на территории Советского Союза распространены наиболее широко. Из сульфидов, кроме молибденита, в них наиболее часто встречаются галенит, сфалерит и реже пирит. Имеются месторождения, в которых отдельные рудные тела и участки рудных тел сложены преимущественно галенитом или сфалеритом, что сближает их с месторождениями, представляющими настуран-галенитовую и настуран-сфалеритовую парагенетические ассоциации. Последние встречаются довольно редко. Пространственно они тяготеют к настуран-молибденитовым месторождениям и всегда содержат заметное количество молибденита. Сказанное позволяет допустить, что между месторождениями, представляющими три перечисленные выше парагенетические ассоциации, обычно относимые к одному собственно урановому типу, имеется не только пространственная, но и генетическая связь.

Происхождение подавляющей части сульфидов в месторождениях собственно уранового типа не может быть объяснено заимствованием их из вмещающих пород и донастурановых жил, так как они или не отмечены в них совершенно, или установлены в ничтожных количествах. Появление большей части или всех этих сульфидов можно объяснить только составом растворов, из которых они отложены.

Месторождения, представляющие настуран-кварц-пиритовую парагенетическую ассоциацию, пространственно обособлены от других месторождений, относящихся к настуран-сульфидному парагенезису. Главным сульфидным минералом в них является пирит, в то время как галенит, сфалерит и особенно молибденит встречаются весьма редко. Основным жильным минералом является кварц, отмечаемый в других настуран-сульфидных парагенезисах в подчиненном или ничтожном количестве. Эта парагенетическая ассоциация встречена только в наложенных месторождениях, причем часть жильного материала настурансодержащих прожилков некоторые исследователи считают произошедшей за счет более ранних кварц-сульфидных жил.

Рудопроявления, заключающие парагенетическую ассоциацию настурана с антимонитом и марказитом, пространственно тяготеют к

2741-42

сурьмяно-ртутным месторождениям. Эти рудопроявления, как урановые, промышленного значения не имеют. Однако в дальнейшем, по нашему мнению, не исключено обнаружение промышленных месторождений, представляющих данную парагенетическую ассоциацию. Последнее предположение основывается прежде всего на том, что территории, заключающие сурьмяные и гидротермальные урановые месторождения, нередко тяготеют друг к другу. С другой стороны, во многих минералах урановых месторождений, в том числе и в настуране, отмечаются заметные количества сурьмы. Ведущими жильными минералами в том и другом случае являются карбонаты и флюорит. Эти факты позволяют видеть определенную связь между урановыми рудопоявлениями в сурьмяно-ртутных месторождениях и собственно урановыми месторождениями.

Настуран-флюоритовая парагенетическая ассоциация, как и настуран-кальцитовая, в своем типичном проявлении по минералогическому составу исключительно проста. В прожилках, представляющих данную парагенетическую ассоциацию, ведущая роль принадлежит темно-фиолетовому флюориту и настурану. Сульфиды для этой парагенетической ассоциации не характерны. Количество их крайне ничтожно, а их списочный состав меняется от месторождения к месторождению. Сходство двух вышеназванных парагенетических ассоциаций подчеркивается также тем, что иногда во флюорит-настурановых прожилках отмечаются те или иные количества карбонат-кальцита и анкерита. Однако месторождений, в которых соотношение парагенных кальцита и флюорита колебалось бы в широком пределе, не установлено.

Своеобразие настуран-диарсенидной парагенетической ассоциации минералов заключается в том, что здесь парагенным настурану является не столько кальцит, сколько анкерит, — минерал, содержащий до 16% закисного железа. На примере этих месторождений мы можем установить возможность одновременного отложения из ураноносных растворов окислов урана и карбонатов с большим количеством двухвалентного железа без видимого окисления последнего, т.е. картину, обратную той, которую мы наблюдали при формировании парагенетической ассоциации настурана с сульфидом меди и настурана с кальцитом и гидроокислами железа.

В некоторых урановых месторождениях намечается зональность, которая выражается в том, что в верхних частях рудных тел и на их флангах преобладают настуран-карбонатная и настуран-силикатно-сульфидная парагенетические ассоциации. Эти ассоциации с глубиной сменяются настуран-галениновой, а затем настуран-молибдени-

-41-

товой. В нижних частях в парагенезисе с настураном в одних месторождениях наблюдается усиление роли кварца, в других - кальцита. Намечающаяся вертикальная зональность в урановых рудных телах позволяет в некоторых случаях оценивать эрозионный срез месторождений и тем самым устанавливать их перспективность на глубину.

Изучение состава настурановых жил и прожилков показывает, что минералы в них образуют тончайшие срастания друг с другом, что особенно относится к сульфидно-настурановой парагенетической ассоциации. Подобные взаимоотношения между минералами многими исследователями рассматриваются как результат раскристаллизации геля сложного состава, и в этом случае трудно говорить о последовательности выделения отдельных минералов. Однако наряду с такими срастаниями многие прожилки, особенно настуран-карбонатного и настуран-флюоритового состава, имеют отчетливое симметрично-зональное строение. В их зальбандах расположены кварц, гётит, гематит и иногда барит, которые отлагались до настурана или одновременно с ним. После настурана выделялись пирит, молибденит и другие сульфиды, а также кальцит или флюорит.

Таким образом, из описания парагенетических ассоциаций урановых минералов Советского Союза можно сделать следующие основные выводы.

1. Урановые месторождения Советского Союза размещаются преимущественно в кислых эффузивах и интрузивных породах, реже в эффузивных породах среднего состава, метаморфических породах и крайне редко в основных породах габбро-диоритового состава.

2. Формирование большинства урановых месторождений происходило многостадийно и протекало длительное время. Урановая минерализация связана с заключительными, часто завершающими стадиями минерализации.

3. Урановые рудные тела образуются как путем выполнения открытых полостей, слагая жильные или штокверковые тела, так и метасоматическим путем, образуя вкрапленные руды.

4. К числу процессов, особенно близко стоящих к формированию урановых рудных тел, относятся щелочной метасоматоз и карбонатизация. Первый из этих процессов несколько опережает отложения урановых минералов и чаще всего выражается в образовании зон альбитизации и серицитизации. Второй процесс обычно синхронен отложению урановых минералов, но часто карбонаты выделяются также после урановых минералов, завершая формирование месторождений.

2741-42



5. Изучение урановых месторождений показало, что иногда на состав рудных тел существенное влияние оказывают вмещающие породы и вещество более ранних гидротермальных жил. Различные минералы, с которыми взаимодействуют рудоносные растворы, в той или иной степени растворяются и вновь переотлагаются. Особенно интенсивному замещению подвергаются минералы, содержащие в своем составе двухвалентное железо, а также различные сульфиды. Переотложенные минералы могут содержать те же элементы, что и растворенные, но нередко возникают минералы, в которых часть элементов получена из вмещающей среды, а вторая часть привнесена гидротермальными растворами из магматического очага.

6. В месторождениях Советского Союза наиболее широко развиты парагенезисы окислов урана, особенно парагенетические ассоциации настурана с сульфидами. Среди последних исключительно широкое распространение получила настуран-молибденитовая парагенетическая ассоциация. Значительна также роль парагенетической ассоциации настурана с кальцитом. Остальные парагенетические ассоциации встречаются на ограниченных территориях.

7. Изучение реакционных взаимодействий парагенных настурану и донастурановых минералов позволяет сделать вывод о весьма разнообразных условиях, в которых протекают процессы минералообразования. В одних месторождениях отчетливо видно окисляющее действие ураноносных растворов на более ранние минералы, в других месторождениях донастурановые минералы контактируют с урансодержащими рудами без следов их коррозии и окисления. Следовательно, гипогенные урановые минералы могут выделяться из гидротермальных растворов в весьма широком диапазоне окислительно-восстановительных условий.

8. В зависимости от условий, в которых протекают процессы минералообразования, уран входит в различные минералы с переменным отношением  $U^{+4}$  и  $U^{+6}$ . В силикатной парагенетической ассоциации главным урановым минералом является силикат четырех- и шестивалентного урана с крайне переменными соотношениями  $U^{+4}$  и  $U^{+6}$ . Значительные массы урана установлены также в минералах, парагенных ненадкевиту. Из окислов урана характерным является уранинит и менее характерным настуран. В настуран-карбонатной, настуран-сульфидной, настуран-диарсенидной и настуран-галогенидной (флюоритовой) парагенетических ассоциациях главным урановым минералом является настуран и второстепенным-уранинит. Как и в силикатах



-43-

урана, соотношение  $U^{+4}$  и  $U^{+6}$  в этих минералах колеблется в весьма широких пределах. В парагенезисе с окислами железа в составе настурана резко преобладают  $UO_3$ ; в парагенезисе с сульфидами увеличивается количество  $UO_2$ .

-44-



Рис.1. Пластины молибденита (белое) среди выделений настурана (серое). Шлиф полированный. x 60



Рис.2. Каймы коллоидного молибденита (серое) вокруг почеч настурана (темное). Белое - галенит. Шлиф полированный. x 165

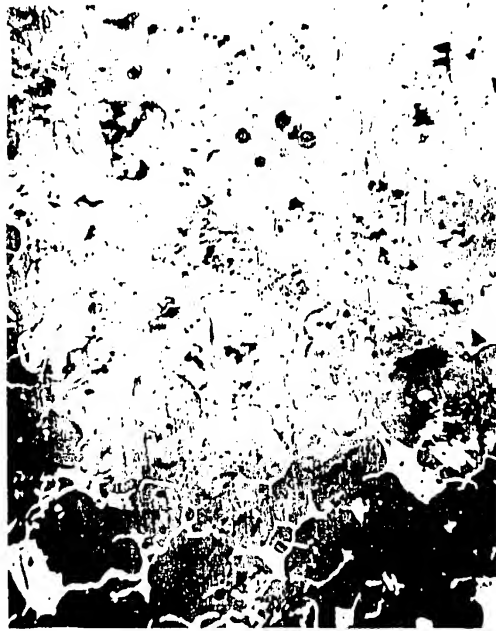


Рис.3.Галенит (белое) выполняет пространство между почками настурана (темно-серое). Шлиф полированный.х 85

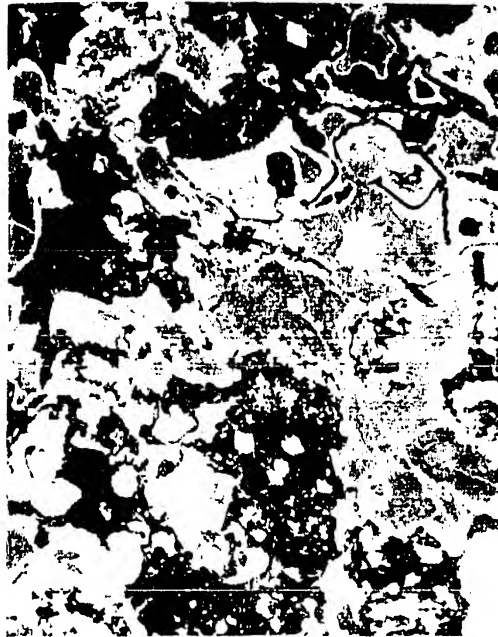


Рис.4.Каймы тонкочешуйчатого серицита (белое) на контакте настурана (черное) с вмещающей породой. Фото приполированного образца.х 15



Рис.5. Настуран-сфалеритовые почки. Светло-серое - сфалерит; темно-серое - настуран; белое - галенит; черные кристаллы - кварц. Шлиф полированный. x 50



Рис.6. Дендриты галенита (белое) в молибдените (светло-серое). Темно-серое основное поле - сфалерит с одиночными почками настурана в нем. Шлиф полированный. x 40

-47-

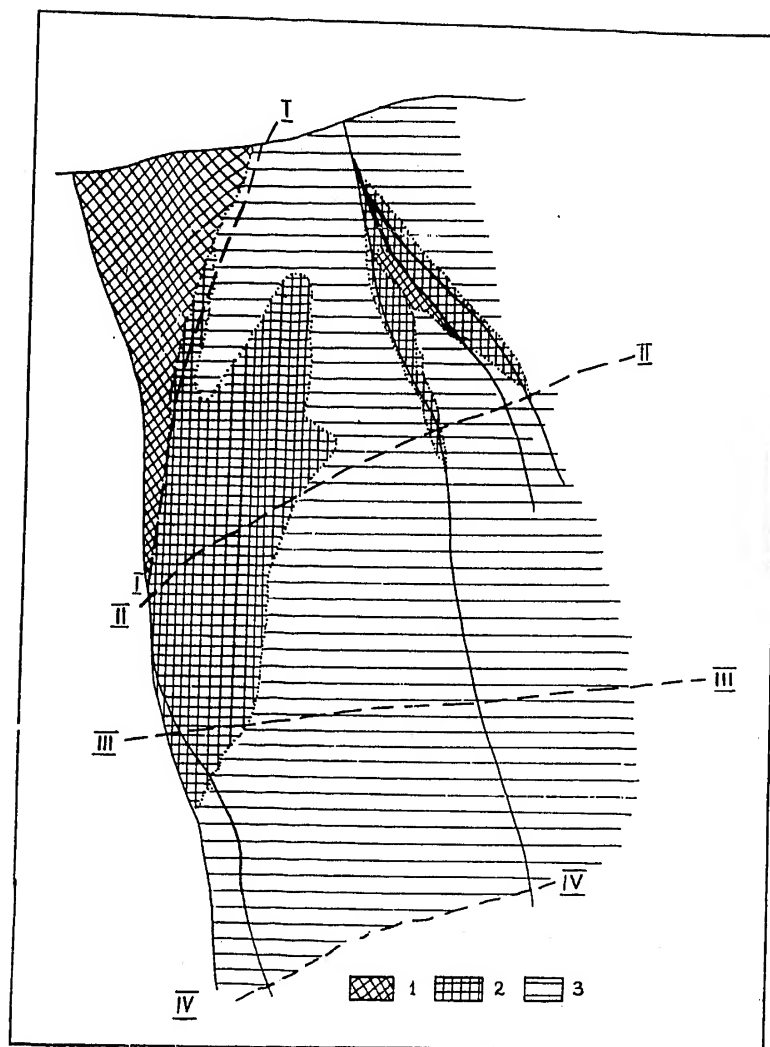


Рис.7. Схема распределения различных парагенетических ассоциаций настурана в медно-висмутовом месторождении (продольная проекция на вертикальную плоскость, 1 - участки с медно-висмутовыми минералами; 2 - участки, обогащенные пиритом; 3 - участки с бедной вкрапленностью пирита; I-I - нижняя граница распространения настурана с медно-висмутовыми минералами; II-II - нижняя граница распространения настурана с марказитом; III-III - нижняя граница распространения настурана с самородной медью, самородным висмутом и окислами железа; IV-IV - нижняя граница распространения настурана с кальцитом



Рис.8. Дендритовидное выделение самородной меди в кальците и настуране: с -самородная медь; н - настуран; кц -кальцит. Шлиф полированный. Снято при одном никеле. х 85



- 49 -

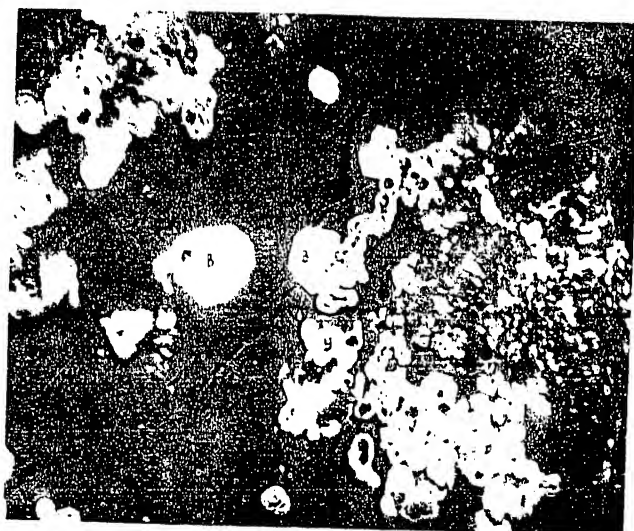


Рис. 9. Таблитчатые кристаллы виттихенита, заключенные в кальците или нарастающие на настурани. Шлиф полированный. Снято при одном никеле. х 410



Рис. 10. Строение настуран-кальцитового прожилка: у - настурани; кц - кальцит; кц+гм - прорастание гематита кальцитом; хп - халькопирит. Шлиф полированный. Снято при одном никеле. х 20

-50-

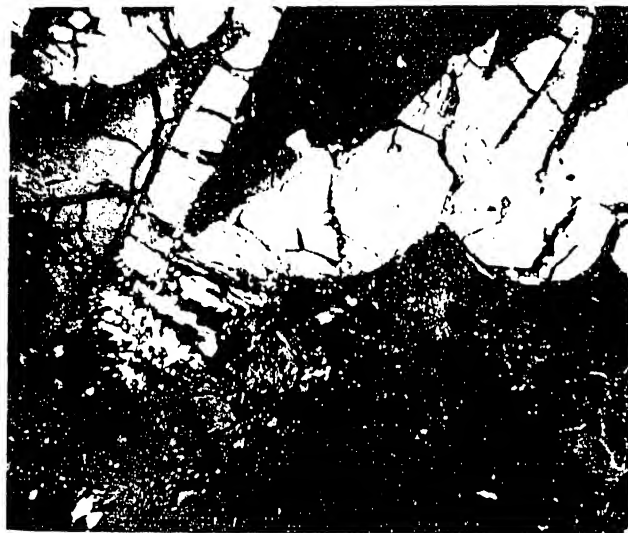


Рис.11. Две генерации настурана (светло-серое и серое) среди карбоната (темное). Белое- галенит. Шлиф полированный.  
x 160

-51-

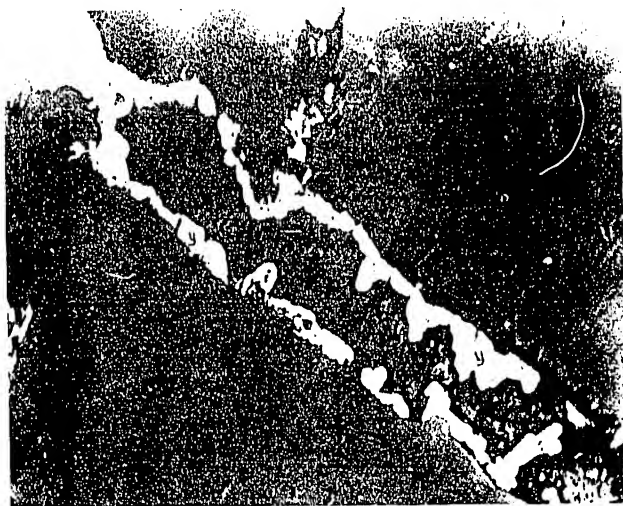


Рис.12. Микропрожилок настурана (у) с кальцитом (кц) в кварце (кв). Шлиф полированный. х 210

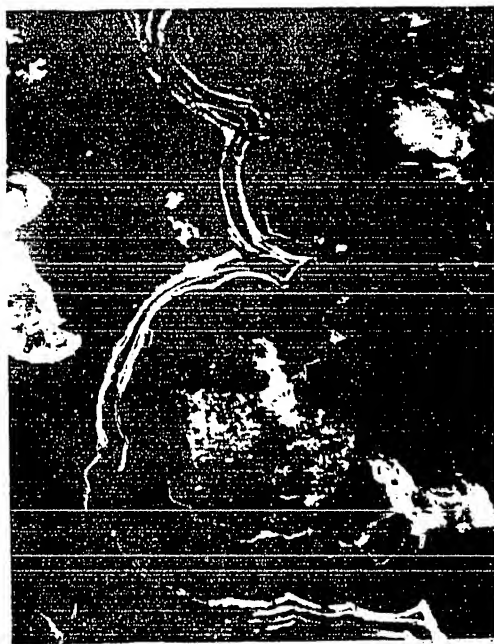


Рис.13. Настуран-кальцитовая почка. Светлое - настуран. Темное - кальцит. Шлиф полированный. х 300

2741-42

-51-

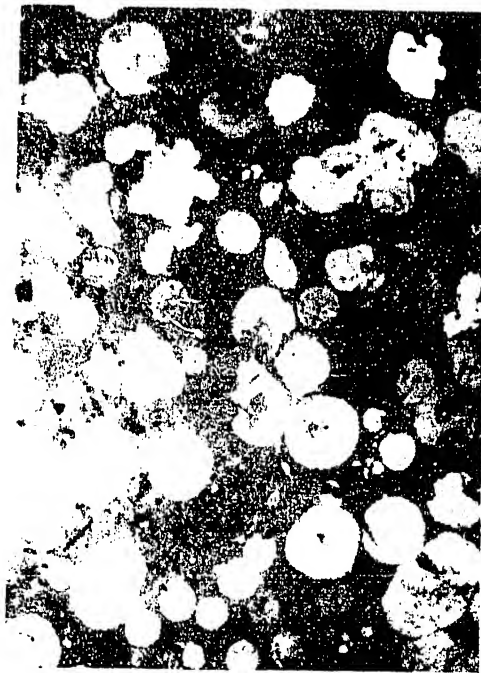


Рис.14. Коллоидные и сферолитовые образования настурана в карбонате. Шлиф полированный. х 800



Рис.15. Насуран (1) замещается гидронастураном (2). Галенит (3). Гематит (4). Шлиф полированный. х 360

-53-



Рис.16. Настуран в хролит-гидрогематитовых почках: хл-хлорит; гм-гидроокислы железа; у - настуран; глт-галенит; кц-кальцит. Шлиф полированный. х 300

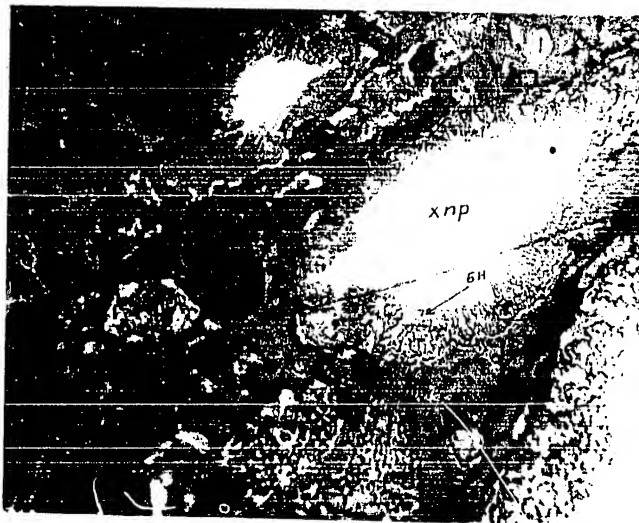


Рис.17. Замещение халькопирита (хпр) борнитом (бн); гт-гидроокислы железа; кв-кварц; у-настуран; кц-кальцит. Шлиф полированный. х 160



Рис.18. Каймы настурана (серое) вокруг диарсенидов (белое).  
Темно-серое - кварц. Шлиф полированный. x 85

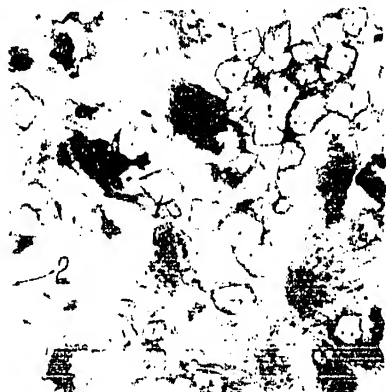


Рис.19. Малахон (1) и апатит (2) в родузитовой породе. Шлиф  
прозрачный. x 56



Рис.20. Кристаллы ненадкевита (серое, трещиноватое) в альбите  
Шлиф прозрачный. x 150

2241-112